Journal of Agricultural Machinery
Vol. 10, No. 2, Fall- Winter 2020, p. 129-139

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۹، ص ۱۳۹-۱۲۹

پیاده‌سازی سامانه ماشین بویایی به‌منظور تشخیص تقلب در روغن حیوانی گاوی

فردین ایاری[۱]، اسماعیل میرزائی قلعه[۲]*، حکمت ربانی[۳]، کبری حیدربیگی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۵

چکیده

تقلب در محصولات لبنی نه تنها تهدیدی جدی برای سلامت انسان است بلکه زیان‌های اقتصادی متعددی را نیز به دنبال دارد. ازجمله تقلب‌های رایج در روغن حیوانی گاوی، ترکیب کردن آن با روغن نباتی و روغن دنبه است. در این پژوهش، یک سامانه‌ی ماشین بویایی بر پایه هشت حسگر نیمه‌هادی اکسـید فلـزی ساخته شد و قابلیت آن در تشخیص مقادیر مختلف ترکیب روغن نباتی و روغن دنبه در روغن حیوانی گاوی خالص (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد) مورد بررسی قرار گرفت. بردار ویژگی‌ها از سیگنال پاسخ حسگرها به ترکیبات فرار و معطر انواع روغن‌ها، استخراج و به‌عنوان ورودی مدل تشخیص الگو استفاده شد. هم‌چنین جهت طبقه‌بندی ویژگی‌های استخراج‌شده از روش تحلیل تفکیک درجه دوم (QDA) استفاده شد. نتایج حاصل از آنالیز مؤلفه‌های اصلی با دو مؤلفه‌ی PC1 و PC2، به‌ترتیب واریانس ۹۸ و ۹۷ درصد را برای ترکیب روغن حیوانی با روغن نباتی و روغن دنبه نشان داد. همچنین نمودارهای لودینگ و رادار نشان داد که بوی روغن حیوانی گاوی بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را به‌ترتیب روی حسگر TGS822 و حسگر MQ135 دارد. همچنین بوی روغن نباتی و روغن دنبه بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را به‌ترتیب روی حسگرهای MQ136 و MQ135 داشت. با توجه به نتایج به‌دست آمده از نمودار رادار مشخص شد که حسگر MQ135 کمترین نقش را در طبقه‌بندی دارد. هم‌چنین براساس نتایج حاصل از طبقه‌بندی، دقت طبقه‌بندی برای روغن حیوانی مخلوط با روغن نباتی و روغن دنبه به‌ترتیب برابر ۹۵/۲۴ و ۹۷/۱۵ درصد به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: حسگرهای نیمه‌هادی، روغن حیوانی گاوی، ماشین بویایی، مؤلفه‌های اصلی

مقدمه

امروزه از مهم‌ترین بحث‌های مطرح در جوامع جهانی، اهمیت و نقش روغن‌های خوراکی در تغذیه و سلامت جسمی افراد به‌خصوص در پیشگیری از بیماری‌های قلبی- عروقی است (Oh *et al.*, 2005). در ایران روغن‌های غذایی مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ یکی از این روغن‌ها، روغن حیوانی (روغن زرد) است. روغن حیوانی که به آن روغن کرمانشاهی نیز گفته می‌شود، نوعی روغن آشپزی است که از کره تولید می‌شود و جزء سوغاتی‌های اصلی شهر کرمانشاه است (Bahrami *et al.*, 2000). طبق دستورالعمل سازمان استاندارد سلامت مواد غذایی هند (FSSAI)، روغن حیوانی باید فاقد روغن نباتی، چربی بدن حیوانات، روغن‌های معدنی، افزودنی‌های طعم‌دار و هر ماده خارجی دیگر باشد (Amrutha Kala, 2013).

تشخیص تقلب در روغن همواره جامعه علمی را به چالش کشیده است. به‌سختی می‌توان تکنیکی را یافت که بتواند به‌راحتی و با اطمینان، پارامترهای کیفی روغن را ارزیابی کند (Jirankalgikar and De, 2014). تقلب در روغن حیوانی اغلب با افزودن روغن‌های گیاهی، نباتی و چربی بدن حیوانات انجام می‌گیرد. تشخیص تقلب در فرآورده‌های غذایی و برآورد میزان آن از نگرانی‌های کلیدی سال‌های اخیر است (Tajima *et al.*, 1995). کیفیت‌سنجی فرآورده‌های کشاورزی و مواد خوراکی برای تضمین بهداشت و کیفیت تغذیه انسانی دارای اهمیت ویژه است. از این رو در چند دهه اخیر این توجه به‌سوی استفاده از روش‌های بینایی، بویایی و چشایی رایانه‌ای معطوف گردیده است (Kiani *et al.*, 2016).

بو، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های حسی مواد غذایی به حساب می‌آید. ماشین بویایی[۵] (بینی الکترونیک)[۶]، ابزاری است که حس بویایی انسان را شبیه‌سازی می‌کند. همچنین تشخیص و درک بوهای پیچیده را به کمک آرایه‌هایی از حسگرهای شیمیایی و الکترونیکی انجام می‌دهد (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2009). به‌طور کلی، بینی الکترونیک ابزاری غیر مخرب و با قابلیت اعتماد بالا است که نسبت به سایر روش‌ها مزیت‌هایی همچون کاربری آسان، هزینه‌ی کم و سرعت بالا دارد (Loutfi *et al.*, 2015).

در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی در زمینه کاربرد ماشین بویایی در بخش‌های مختلف گزارش شده است. سولی و همکاران به منظور طبقه‌بندی پنیر در مراحل مختلف انبارداری از یک سامانه بینی الکترونیک استفاده کردند. آن‌ها پنیر را به کمک شبکه عصبی

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه رازی، کرمانشاه
۴- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام
(*- نویسنده مسئول: Email: e.mirzaee@razi.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v10i2.67524

5- Machine Olfaction
6- Electronic Nose (E-Nose)

مصنوعی ۱۰۰ درصد طبقه‌بندی کردند (Cevoli *et al.*, 2011). توحیدی و همکاران از سامانه بینی الکترونیک برای تشخیص فرمالین، پراکسید هیدروژن و هیپوکلریت سدیم در شیر خام استفاده کردند؛ بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، به‌ترتیب ۹۷، ۸۷ و ۸۳ درصد واریانس درون داده‌ها برای فرمالین، پراکسید هیدروژن و هیپوکلریت سدیم به‌دست آمد. تجزیه و تحلیل تفکیک خطی (LDA) به دقت طبقه‌بندی نسبتاً پایین به‌ترتیب ۷۹/۱۶، ۷۰/۸۳ و ۶۶/۶۶ درصد، و در نهایت ماشین بردار پشتیبان به‌ترتیب ۶۴/۹۴، ۸۵/۹۲ و ۷۵/۸۷ درصد دقت برای فرمالین، پراکسید هیدروژن و هیپوکلریت سدیم را نشان داد (Tohidi *et al.*, 2018). در پژوهش دیگری از یک سامانه بینی الکترونیک برای شناسایی و تشخیص تقلب در روغن زیتون استفاده شد. بر اساس نتایج، تفکیک روغن اصل و تقلبی به‌خوبی انجام گرفت (Oliveros *et al.*, 2002). های و وانگ با استفاده از یک بینی الکترونیک، تقلبی و یا غیر تقلبی بودن روغن دانه کاملینا و روغن کنجد را بررسی کردند (Hai and Wang, 2006). همچنین بینی الکترونیک در تشخیص تقلب در روغن آفتاب گردان و روغن دانه ذرت و قهوه نیز به‌کار رفته است و در این مطالعات تشخیص محصول تقلبی با قابلیت اطمینان بالای ۹۵درصد گزارش شده است (Mildner-Szkudlarz and Jeleń, 2008; Son *et al.*, 2009). حیدربیگی و همکاران زعفران اصلی از نوع تقلبی را توسط یک سامانه بینی الکترونیکی مورد بررسی قرار دادند. سامانه ارائه شده توانست نمونه‌های زعفران اصل و تقلبی را به‌ترتیب با دقت بیش از ۸۶/۸۷ درصد تشخیص دهد (Heidarbeigi *et al.*, 2015).

فرآیندهای زیستی روغن حیوانی گاوی در مدت فرآوری و نگهداری آن باعث ایجاد گازهای حاصل از بوی روغن حیوانی گاوی و تولید ترکیبات آلی فرار می‌شود. با ارزیابی این ترکیبات، تشخیص روغن حیوانی گاوی خالص از نوع تقلبی امکان‌پذیر خواهد بود. بر اساس بررسی منابع، تاکنون یک ماشین یا سامانه ویژه برای تشخیص روغن حیوانی گاوی خالص از نوع تقلبی آن طراحی یا ساخته نشده است. بینی الکترونیک از روش‌های جدیدی می‌باشد که اخیراً در کشاورزی و به‌خصوص در زمینه بررسی کیفی مواد غذایی بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است. با توجه به قابلیت بالای این فن‌آوری، در این تحقیق سامانه بینی الکترونیک جهت تشخیص روغن حیوانی گاوی خالص از نوع تقلبی نیز مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

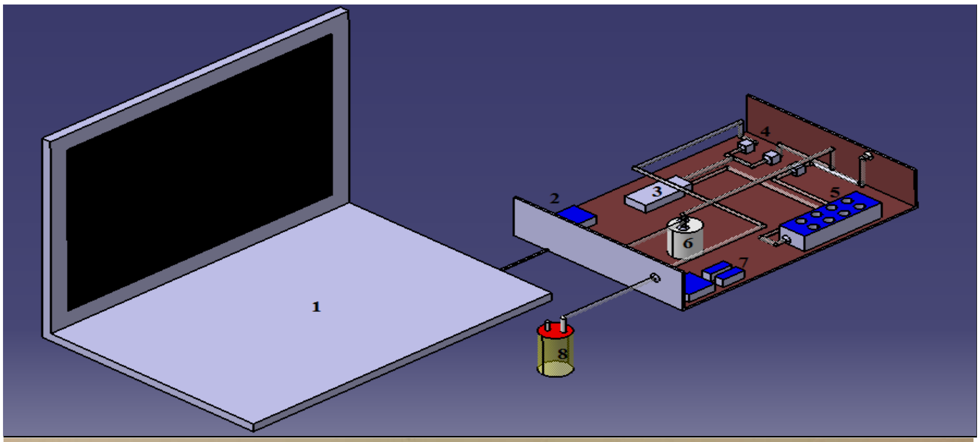
ساخت سامانه

به‌منظور تشخیص میزان تقلب در روغن حیوانی، یک سامانه ماشین بویایی طراحی و ساخته شد. این سامانه شامل بخش سامانه تحصیل داده، حسگرها، محفظه حسگرها، محفظه نمونه‌گیری، منبع تغذیه، اتصالات، شیرهای برقی، پمپ هوا و فیلتر هوا است. شکل ۱ طرح‌واره سامانه بینی الکترونیک طراحی شده را نشان می‌دهد. سامانه طراحی شده به یک پمپ دیافراگمی (مدل TYAP-127 با ولتاژ ۱۲ ولت)، به منظور انتقال گاز نمونه (فضای هد) به محفظه حسگرها مجهز شد. به منظور کنترل خودکار سامانه و گرفتن الگوی بوی نمونه‌ها، سامانه به سه شیر برقی دو راهه (UNI-DO 2/2) یک چهارم اینچ با ولتاژ تحریک ۱۲ ولت مجهز شد. شیرهای برقی در حالت نرمال بسته بوده یعنی در حالتی که بوبین شیر برقی فعال نباشد شیر در وضعیت بسته بوده و بوی اضافه از شیر عبور نمی‌کند.

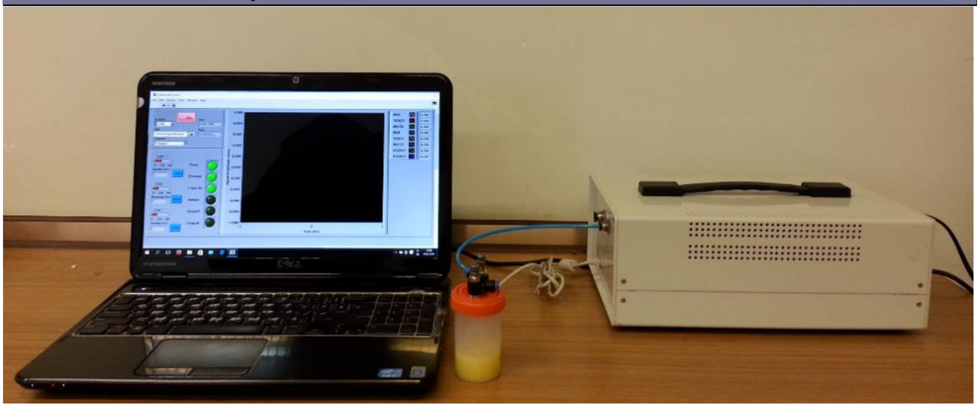
اساس سامانه‌های بینی الکترونیک بر پایه‌ی حسگرهای گازی است (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2015). در این پژوهش از ۸ حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی استفاده شد که هر کدام به ترکیبات خاصی از مواد فرار در نمونه‌ها واکنش نشان می‌دهند. این حسگرها به دلیل پایداری شیمیایی بالا، عمر زیاد، پاسخ کم به رطوبت و قیمت مناسب به‌طور گسترده در ماشین‌های بویایی استفاده می‌شوند (Sanaeifar *et al.*, 2015). انتخاب مجموعه حسگرها از اهمیت زیادی برخوردار است، به‌طوری که با انتخاب مجموعه مناسبی از آن‌ها می‌توان طیف وسیعی از ترکیبات بو را شناسایی کرد (Doleman and Lewis, 2001). از متداول‌ترین حسگرهای مورد استفاده در سامانه بینی الکترونیک، حسگرهای شیمیایی هستند که قادرند یک کمیت شیمیایی موجود در گاز یا مایع را با ایجاد یک سیگنال الکتریکی پاسخ دهند (Mildner-Szkudlarz and Jeleń, 2008). مشخصات حسگرهای استفاده شده در بینی الکترونیک طراحی شده در جدول ۱ آورده شده است.

این هشت حسگر بر روی یک صفحهٔ الکترونیک مداربندی شد. مداربندی حسگرها بر اساس صفحات داده (دیتا شیت) منتشر شده، انجام شد. با ورود گاز موجود اطراف نمونه به محفظهٔ حسگرها تغییری در ولتاژ خروجی هر حسگر متناسب با نوع حسگر و میزان حساسیت آن ایجاد می‌شود. این اطلاعات توسط سیستم تحصیل داده جمع‌آوری شد. برای این منظور از نرم‌افزار LABVIEW 2012 استفاده شد.

(a)



(b)



شکل ۱- نقشه سه‌بعدی سامانه (a) و سامانه ماشین بویایی طراحی شده (b):

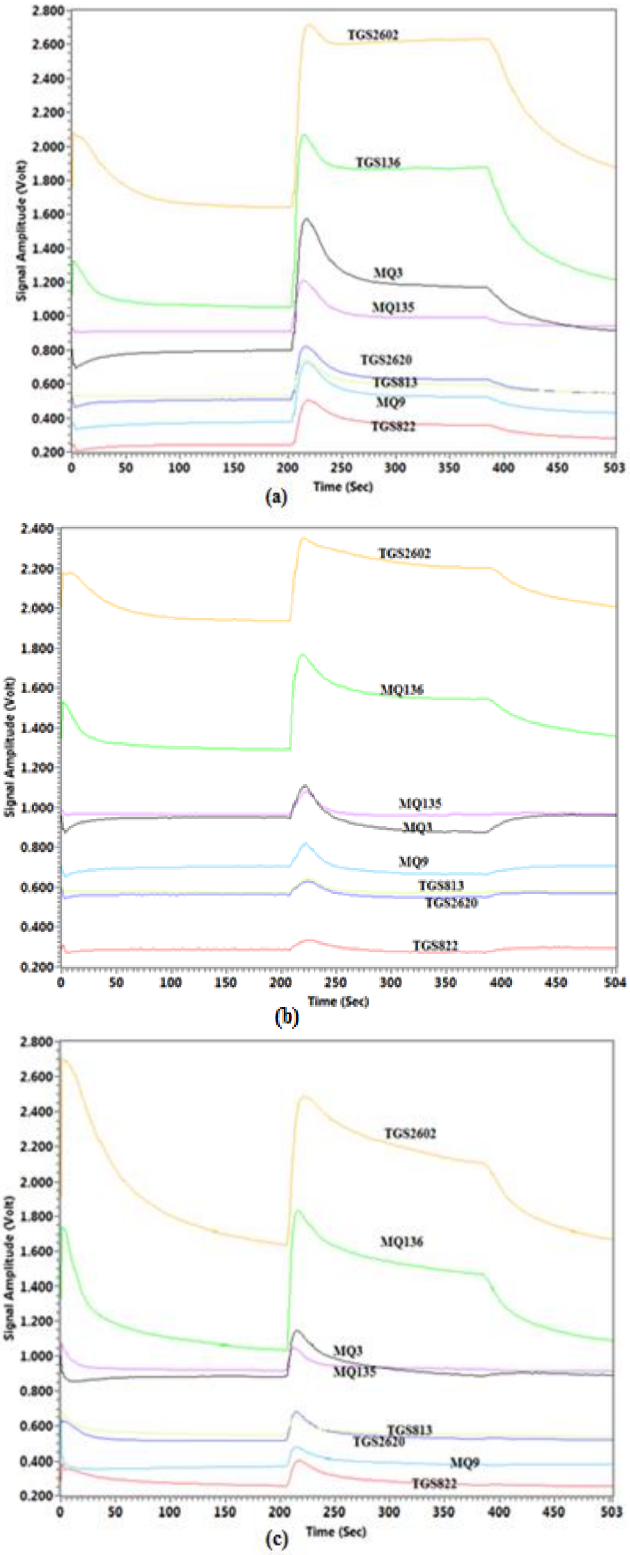
۱-رایانه، ۲- سامانه تحصیل داده، ۳- پمپ، ۴- شیرهای برقی، ۵- حسگرها و محفظه حسگرها، ۶- فیلتر هوا، ۷- منبع تغذیه، ۸-محفظه نمونه

Fig.1. The 3-dimensional draw (a) and the designed e-nose system (b):
1- Computer, 2- Data acquisition card, 3- Pump, 4- Electro valves, 5- Sensors and Sensor chamber, 6- Air filter, 7- Power supply, 8- Sample chamber

جدول ۱- حسگرهای استفاده شده در سامانه بینی الکترونیک و مشخصات آن‌ها (Heidarbeigi *et al.*, 2015; Tohidi *et al.*, 2018; Sanaeifar *et al.*, 2015)

Table 1- Sensors used in electronic nose system and view them

کاربردهای اصلی **Main applications**	محدوده‌های تشخیص **Typical detection ranges (ppm)**	نوع حسگر **Sensor type**
الکل Alcohol	10-300	MQ3
گاز مونو اکسید کربن، گازهای احتراق پذیر CO and combustible gas	Co 10-1000, Cg 100-10000	MQ-9
بخار آمونیاک، سولفید، بنزین Steam ammonia, benzene, sulfide	10-10000	MQ135
دی اکسید سولفور Sulfur dioxide (SO_2)	1-200	MQ-136
متان، پروپان، بوتان CH_4, C_3H_8, C_4H_{10}	500-10000	TGS813
بخار حلال‌های آلی Steam organic solvents	50-5000	TGS822
سولفید هیدروژن، آمونیاک، تولوئن Hydrogen sulfide, ammonia, toluene	1-30	TGS2602
الکل، بخار حلال‌های آلی Alcohol, Steam organic solvents	50-5000	TGS2620



شکل ۲– پاسخ سامانه بینی الکترونیک به نمونه‌های (a) روغن حیوانی گاوی، (b) روغن نباتی، (c) روغن دنبه

Fig.2. Electronic nose system Response to Samples (a) Cow ghee, (b) Vegetable oils and (c) Fat oil

فرآیند داده‌برداری

در این پژوهش از روغن‌های دنبه و نباتی به‌عنوان تقلب‌های رایج در روغن حیوانی گاوی استفاده شد. برای آماده کردن نمونه‌ها با درصدهای تقلب، ۲۴ ساعت قبل از داده‌برداری با بینی الکترونیک، روغن‌های ذکر شده با نسبت‌های (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد وزنی) به روغن حیوانی گاوی خالص افزوده شد. برای هر نمونه آزمایش مقدار ۳۰ گرم در ظرف‌های مخصوص نگهداری شد. ، برای این‌که روغن از حالت جامد به حالت مایع تبدیل شود، نمونه‌ها در داخل حمام آب گرم (دمای ۴۰ درجه سلسیوس) قرار داده شد. این عمل بدین منظور انجام شد که بوی روغن در حالت مایع، هوای داخل محفظه را بیشتر اشباع کرده و غلظت مواد فرار در داخل محفظه افزایش یابد. نحوه‌ی انجام آزمایش بدین صورت بود که ابتدا نمونه در داخل محفظه نمونه قرار داده و درب آن بسته شد. قبل از شروع آزمایش‌ها و فرآیند داده‌برداری روی نمونه‌های مختلف روغن، به‌منظور اختلاط هوای داخل محفظه با بوی نمونه و پر شدن فضای بالای نمونه، به مدت ۱۸۰ ثانیه منتظر مانده و این عمل بدین منظور انجام شد که بوی محصول، هوای داخل محفظه را اشباع کرده و غلظت مواد فرار در داخل محفظه افزایش یابد. سپس مراحل کاری بینی الکترونیک شامل تصحیح خط مبنا، تزریق بوی نمونه و پاک کردن حسگرها و محفظه انجام شد. در ابتدا نمونه در محفظه نمونه قرار گرفت و در مرحله تصحیح خط مبنا (۲۰۰ ثانیه)، هوای تمیز به‌منظور رساندن پاسخ آرایهٔ حسگرها به حالت پایدار از روی حسگرها عبور داده شد. در مرحلهٔ تزریق بوی نمونه (۱۸۰ ثانیه) با ورود گاز اطراف نمونه به محفظهٔ حسگرها تغییری در ولتاژ خروجی هر حسگر متناسب با نوع حسگر و میزان حساسیت آن ایجاد می‌شود. در مرحله پاک کردن حسگرها و محفظه، هوای تمیز شده به منظور رساندن پاسخ آرایهٔ حسگرها به حالت پایدار از روی حسگرها عبور داده می‌شد. همچنین در این مرحله پمپ در مدت زمان ۱۲۰ ثانیه بوی مانده در داخل محفظهٔ نمونه را خارج کرده تا سامانه برای آزمایش نمونه بعدی آماده گردد (Heidarbeigi *et al.*, 2015; Sanaeifar *et al.*, 2015). پاسخ ولتاژی حسگرها در این ۵۰۰ ثانیه توسط سامانه تحصیل داده جمع‌آوری می‌شد. هر تیمار، با ۱۵ تکرار مورد آزمایش قرار گرفت. در شکل ۲ پاسخ حسگرها به نمونه‌های روغن حیوانی گاوی (a)، روغن نباتی (b) و روغن دنبه (c) آورده شده است.

استخراج ویژگی‌ها از سیگنال‌ها

سیگنال‌های به‌دست آمده از حسگرها ابتدا به‌صورت داده‌های خام ثبت و ذخیره شدند. در مرحله بعدی، سیگنال‌های حسگرها پیش‌پردازش شدند. پیش‌پردازش شامل سه مرحله تصحیح خط مبنا، فشرده‌سازی و نرمال‌سازی داده‌ها بود. هدف از تصحیح خط مبنا جبران رانش[1] و افزایش کیفیت پاسخ حسگرها است. در این پژوهش، از روش کسری برای تصحیح خط مبنا استفاده شد (رابطه ۱). این روش علاوه بر تصحیح خط مبنا، داده‌ها را نیز نرمال می‌کند و به‌طور گسترده در حسگرهای نیمه‌هادی اکسید فلزی استفاده مـی‌شود :(Pearce *et al.*, 2003)

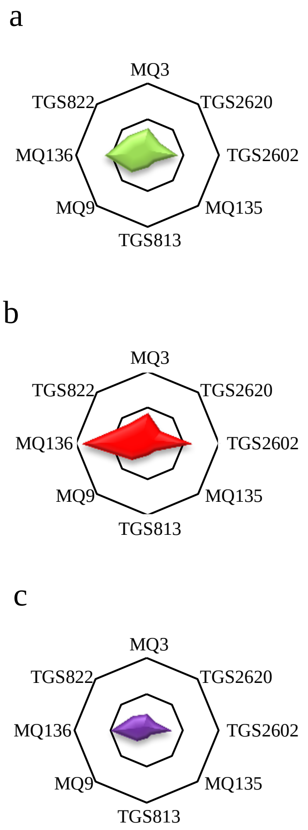
$$Y_s(t) = [X_s(t) - X_s(0)]/X_s(0) \qquad (۱)$$

که در این رابطه $X_s(0)$ کـم‌تـرین پاسـخ حسـگر قبـل از مرحلـه اندازه‌گیری (خط مبنا)، $X_S(t)$ پاسخ حسگر در زمان t (پاسخ حسگری) و $Y_s(t)$ پاسخ نرمال شده حسگر است. داده‌های پـیش‌پـردازش شـده به‌عنوان ماتریس ورودی برای روش‌های تحلیلـی چنـد متغیـره مـورد اسـتفاده قـرار گرفـت. روش چنـد متغیـره بـدون سرپرسـت[2] تحلیـل مؤلفه‌های اصلی[3] (PCA) به‌منظور تحلیل داده‌ها استفاده شـد. PCA روشی شـناخته شـده در فشـرده‌سـازی داده‌هـای خطـی و اسـتخراج ویژگی‌ها می‌باشد. برای طبقه‌بندی از روش تحلیل تفکیک درجه دوم[4] (QDA) استفاده شد. روش تحلیل تفکیـک درجـه دوم از روش‌هـای مورد استفاده در آمار، تشخیص الگـو و یـادگیری ماشـین بـرای پیـدا کردن ترکیبی از ویژگی‌های مـورد نظـر متمـایز شـده اسـت. در ایـن تحقیق، دو سوم داده‌ها برای آموزش مدل‌هـا و یـک سـوم باقیمانـده برای آزمون در نظر گرفته شد. برای اجرای این مدل طبقه‌بندی، یک برنامه در نـرم‌افـزار متلـب ۲۰۱۳ کدنویسـی شـد. تمـام محاسـبات و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Unscrambler x10.4، نـرم‌افـزار متلب ۲۰۱۳ و Excel 2013 انجام شد.

نتایج و بحث

پاسخ حسگرها با استفاده از روش کسری نرمال شد و پس از استخراج بیشینه پاسخ حسگرها، نمودار رادار[5] آن‌ها رسم گردید. در شکل ۳ نمودار رادار برای روغن حیوانی، روغن دنبه و روغن نباتی نشان داده شده است.

1- Drift
2- Unsupervised
3- Principal Component Analysis (PCA)
4- Quadratic Discriminant Analysis (QDA)
5- Radar



شکل ۳– نمودار رادار پاسخ حسگرها برای (a) روغن حیوانی گاوی، (b) روغن نباتی و (c) روغن دنبه

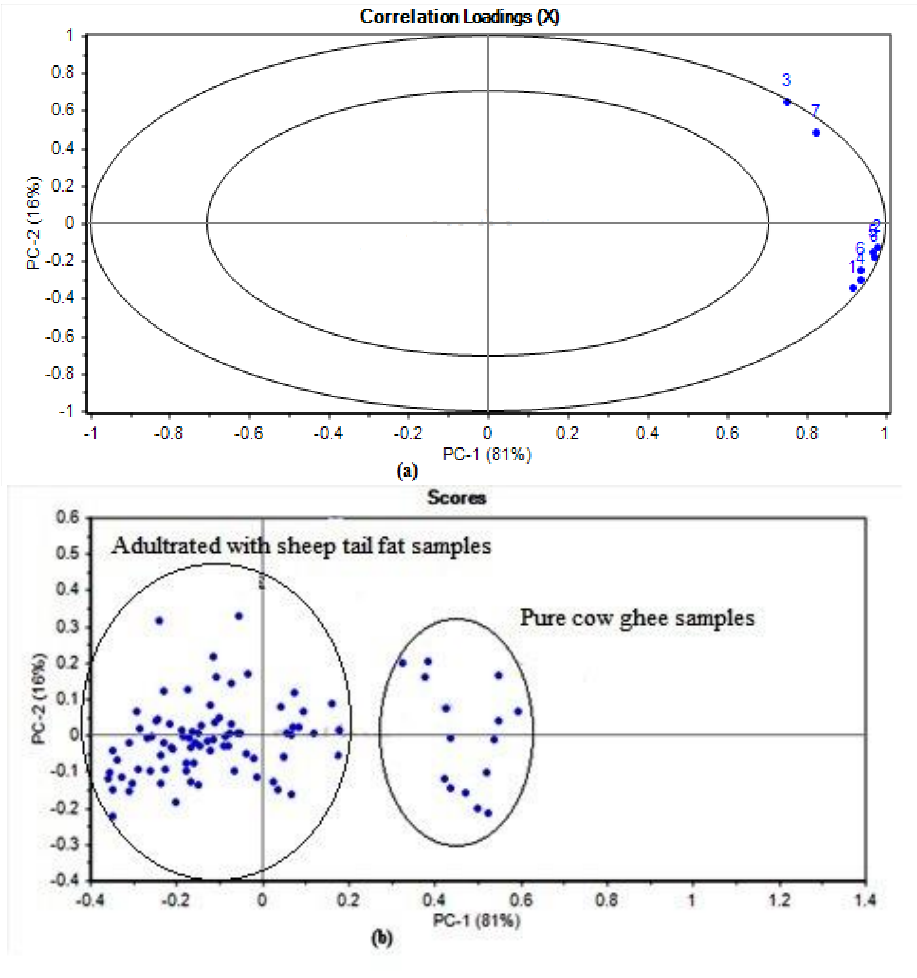
Fig.3. Radar graph response of the sensors for (a) Cow ghee, (b) Vegetable oils and (c) Fat oil

نمودار رادار نشان می‌دهد که بوی روغن حیوانی گاوی بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را به‌ترتیب بر حسگر MQ136 که مربوط به تشخیص بوی دی‌اکسید سولفور و حسگر MQ135 که مربوط به تشخیص بخار آمونیاک، بنزن و سولفید است، دارد. همچنین بوی روغن نباتی بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را به‌ترتیب بر حسگر MQ136 و MQ135 دارد. همچنین با توجه به نتایج به‌دست آمده در مورد بوی روغن دنبه بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را به‌ترتیب بر حسگر MQ136 و MQ135 دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از نمودار رادار می‌توان نتیجه گرفت که حسگر MQ136 که مربوط به تشخیص بوی دی‌اکسید سولفور است در مقایسه با سایر حسگرها، بیشترین نقش را در طبقه‌بندی دارد.

ارزیابی کیفیت روغن حیوانی گاوی با استفاده از PCA

از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به‌منظور تشخیص روغن حیوانی گاوی خالص از نمونه‌های تقلبی استفاده شد. داده‌های نرمال شده به کمک روش کسری، به‌عنوان ورودی PCA مورد استفاده قرار

گرفت. تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای کاهش بعد داده‌ها و ارزیابی مقدماتی شباهت بین کلاس‌ها استفاده شد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) در تعریف ریاضی یک تبدیل خطی متعامد است که براساس نتایج نمودارهای گرافیکی آن، تجسمی از تمام اطلاعات موجود در یک مجموعه داده ایجاد شده را نشان می‌دهد. همچنین این روش به درک این مطلب که یک نمونه با چه نسبتی از سایر نمونه‌ها متفاوت بوده (نمودار اسکور) و کدام متغیرها بیشترین سهم در این تمایز را دارند (نمودار لودینگ) کمک می‌کند. نمودارهای اسکور معمولاً برای مشخص کردن الگوها و طبقه‌بندی داده‌ها به‌کار می‌رود و به نحوی داده‌ها را بیان می‌کند که شباهت‌ها و تفاوت‌های بین آن‌ها آشکار شود. در حالی‌که نمودار لودینگ اطلاعاتی در رابطه با نقش نسبی مجموعه حسگری در تحلیل مؤلفه‌های اصلی ارائه می‌دهد (Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2011).



شکل ٤– (a) نمودار لودینگ و (b) نمودار اسکور تحلیل PCA در تشخیص روغن حیوانی گاوی و مخلوط با روغن دنبه

Fig.4. (a) Loading graph and (b) Score graph of PCA analysis in the diagnosis of cow ghee mixed with sheep tail fat

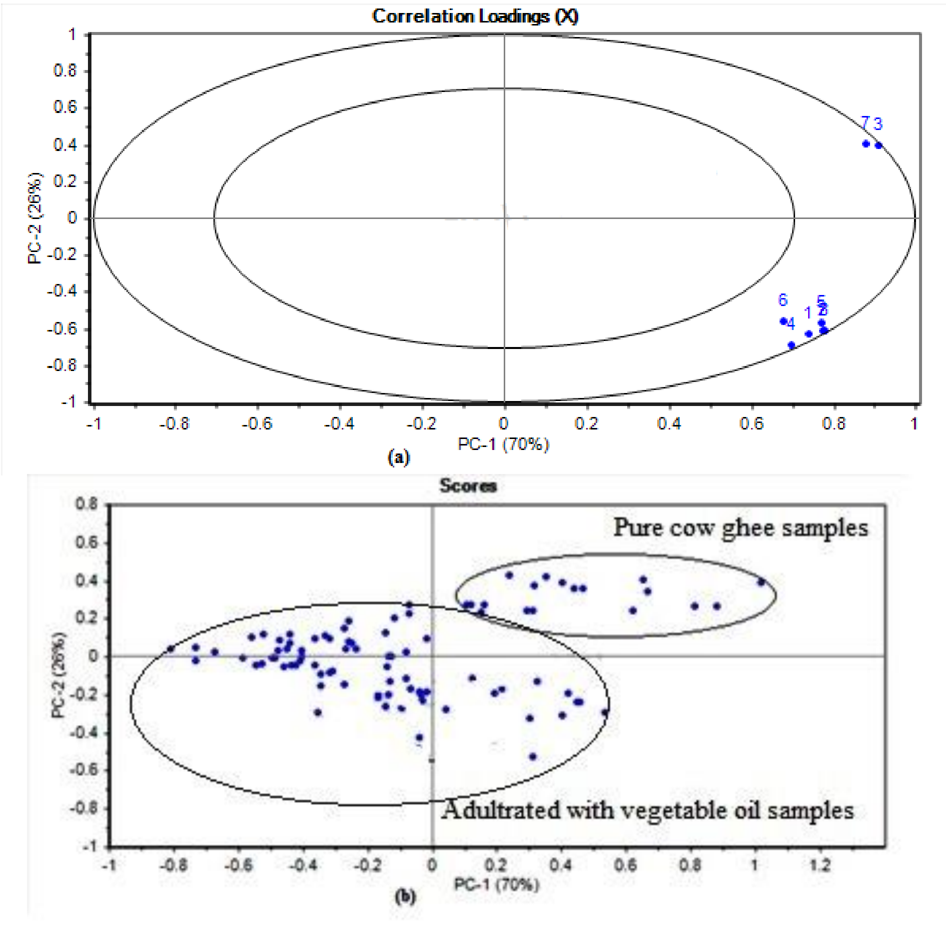
نمودار اسکور[1] مؤلفه‌های اصلی، واریانس بین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری نمونه‌ها را بیان می‌کند. براساس نتایج حاصل از تحلیل PCA در نمونه روغن حیوانی خالص با تقلب روغن دنبه دو مؤلفه‌ی اصلی PC1 و PC2 به‌ترتیب ۸۱ و ۱۶ درصد نمونه‌های روغن حیوانی گاوی خالص و تقلبی (تقلب روغن دنبه) را از یکدیگر تفکیک کردند و در مجموع ۹۷ واریانس بین نمونه‌ها را پوشش دادند (شکل ۴–b).

برای اطلاع از میزان تأثیر هرکدام از حسگرها در تحلیل‌های شناسایی الگو، پاسخ نرمال شده حسگرها در نموداری به نام نمودار لودینگ[2] با ضرایب مقادیر ویژه تصویر شدند. هرچه مقدار لودینگ حسگری روی یک مؤلفه‌ی اصلی بزرگ‌تر باشد، بیانگر نقش بیشتر آن حسگر در تشخیص و تمایز میان نمونه‌های روغن حیوانی گاوی با درصدهای مختلف تقلب است. بنابراین می‌توان با حذف حسگر یا حسگرهایی که

1- Score plot

2- Loadings

کم‌ترین سهم را در تشخیص تمایز بین گروه‌ها دارند، علاوه بر کاستن از پیچیدگی فرآیند تحلیل داده، هزینه‌ی ساخت آرایه حسگری را نیز کاهش داد (Heidarbeigi *et al.*, 2015). نمودار لودینگ به‌منظور تعیین نقش حسگرها در جداسازی گروه‌ها بررسی شد. نمودار لودینگ برای تشخیص روغن حیوانی گاوی از روغن دنبه در شکل۴ (a) آورده شده است. همان‌طور که مشخص است بیشترین مقدار بر روی مؤلفه اصلی برای حسگرهای ۲ (TGS822)، ۳ (MQ136)، ۴ (MQ9) و ۸ (TGS2620) به‌دست آمده است. همچنین بر اساس شکل ۴ حسگرهای ۶ (MQ135) و ۷ (TGS2602) کم‌ترین نقش را در طبقه‌بندی دارند. عدم تغییرات قابل ملاحظه حسگر ۶(MQ135) و ۷ (TGS2602) بیانگر این حقیقت است که بوی این گازها در تفکیک روغن حیوانی گاوی نقشی ندارند و می‌توان با توجه به لزوم کاهش هزینه ساخت ماشین بویایی، این حسگرها را حذف نمود. شش حسگر دیگر یعنی حسگرهای شماره ۱ (MQ3)، ۲ (TGS822)، ۴ (MQ9)، ۵ (TGS813)، ۶ (MQ135) و ۸ (TGS2620) نزدیک به هم قرار دارند که نشان‌دهنده این مطلب است که این حسگرها نتایج مشابهی در سامانه و در تشخیص ترکیبات مورد نظر را ایجاد می‌کنند. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با توجه به مقدار ضریب لودینگ بالای حسگرهای ۵، ۲ و ۸ و همچنین نزدیکی مقادیر آن‌ها به یکدیگر، این حسگرها تأثیر تقریباً یکسانی در شناسایی الگو داشته و می‌توان از هرکدام آن‌ها فقط یکی را در فرآیند تحلیل داده استفاده کرد.



شکل ۵- (a) نمودار لودینگ و (b) نمودار اسکور تحلیل PCA در تشخیص روغن حیوانی گاوی و مخلوط آن با روغن نباتی

Fig.5. (a) Loading graph and (b) Score graph of PCA analysis in the diagnosis of cow ghee mixed with vegetable oil

در شکل ۵ (b) نمودار اسکور با دو مؤلفه اصلی به‌منظور تمایز بین دو گروه نمونه‌های روغن حیوانی خالص و ترکیب‌های مختلف آن با روغن نباتی نشان داده شده است. بر اساس نتایج دو مؤلفه‌ی اصلی PC1 و PC2 به‌ترتیب ۷۰ و ۲۶ درصد نمونه‌های روغن حیوانی گاوی خالص و تقلبی (تقلب روغن نباتی) را از یکدیگر تفکیک و واریانس بین نمونه‌ها در مجموع ۹۶ درصد کل داده‌ها بود. نمودار لودینگ شکل ۵ (a) برای ترکیب روغن حیوانی و روغن نباتی نشان می‌دهد که بیشترین مقدار بر روی مؤلفه اصلی متعلق به حسگرهای ۲ (TGS822)، ۳ (MQ136)، ۴ (MQ9) و ۸ (TGS2620) و ۵ (TGS813) بود و میزان پاسخ حسگرهای شماره ۱ (MQ3)، ۲

(TGS822)، ۴ (MQ9)، ۵ (TGS813)، ۶ (MQ135) و ۸ (TGS2620) نزدیک به هم بود و حسگرهای ۶ (MQ135) و ۷ (TGS2602) تغییراتی جزئی در تشخیص روغن حیوانی گاوی نشان دادند. همچنین حسگرهای ۲ و ۸ با وجود این‌که مقدار ضریب لودینگ بالایی دارند تأثیر تقریباً یکسانی در شناسایی الگو داشته‌اند و می‌توان از هرکدام آن‌ها فقط یکی را در فرآیند تحلیل داده استفاده کرد.

همچنین حسگر ۶ (MQ135) تأثیر کمی در فرآیند تشخیص داشت می‌توان آن را از آرایه حسگری حذف کرد. باید توجه داشت که علی‌رغم این‌که برخی حسگرها که مقدار ضریب لودینگ بالایی دارند اما با توجه به نزدیکی مقادیر آن‌ها به یکدیگر، تأثیر تقریباً یکسانی در شناسایی الگو داشته‌اند و می‌توان از هرکدام آن‌ها فقط یکی را در فرآیند تحلیل داده استفاده کرد.

مارینا و همکاران از سامانه بینی الکترونیک با روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای تشخیص تقلب در روغن نارگیل استفاده کردند. براساس نتایج، نمونه‌های تقلبی و خالص در دو دسته‌ی مجزا با دقت ۷۴ درصد برای مؤلفه اول و ۱۷ درصد برای مؤلفه دوم و درمجموع کل ۹۱ درصد واریانس داده‌ها را پوشش داد (Marina *et al.*,2010). وریدی و همکاران سامانه بینی الکترونیکی را به‌عنوان روش سریع دسته‌بندی تازگی نمونه‌های گوشت چرخ شده شتر در شرایط بسته‌بندی مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس نتایج، نمونه‌های گوشت به دو دسته تازه و فاسد برحسب افزایش تعداد روزهای نگهداری برودتی و شرایط بسته‌بندی قابل دسته‌بندی بود. دو مؤلفه اصلی اول و دوم ۹۰/۵۸ درصد واریانس داده را برای طبقه‌بندی گزارش کردند (Varidi *et al.*, 2018).

نتایج تحلیل تفکیک درجه دوم (QDA)

برای طبقه‌بندی روغن حیوانی گاوی خالص از نمونه‌های تقلبی از روش تحلیل تفکیک درجه دوم (QDA) استفاده شد. ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی تقلب روغن حیوانی با روغن نباتی در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که در این جدول مشخص است نمونه‌های شماره ۱، ۳، ۶ و ۷ که به‌ترتیب مربوط به روغن حیوانی خالص، ۱۰، ۴۰ و ۵۰ درصد تقلب روغن نباتی می‌باشند به‌طور کامل (۱۰۰ درصد) تشخیص داده شده است. در نمونه‌های ۲ و ۴ که به‌ترتیب مربوط به روغن نباتی خالص و مخلوط روغن حیوانی با ۲۰ درصد روغن نباتی هستند، از تعداد ۱۵ نمونه، ۱۳ نمونه به‌درستی تشخیص داده شده و ۲ نمونه به اشتباه نامطلوب شناخته شده است. هم‌چنین در نمونه ۵ (روغن حیوانی مخلوط با ۳۰ درصد روغن نباتی) از ۱۵ نمونه، ۱۴ نمونه با شکل مطلوب و ۱ نمونه با شکل نامطلوب طبقه‌بندی شدند. در نهایت بر اساس جدول ۲، مدل توانسته است با نرخ طبقه‌بندی صحیح ۹۵/۲۴ درصد نمونه‌های روغن حیوانی و روغن نباتی را طبقه‌بندی نماید.

ماتریس اغتشاش تحلیل تفکیک درجه دوم برای طبقه‌بندی مخلوط روغن حیوانی با روغن دنبه در جدول ۳ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در نمونه‌های ۳، ۵، ۶ و ۷ که به‌ترتیب مربوط به مخلوط ۱۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد روغن دنبه با روغن حیوانی خالص هستند به‌طور ۱۰۰ درصد تشخیص داده شده است. هم‌چنین در نمونه‌های ۱، ۲ و ۴ که به‌ترتیب مربوطه به روغن حیوانی خالص، روغن دنبه خالص و مخلوط ۲۰ درصد روغن دنبه با روغن حیوانی خالص هستند از مجموع ۱۵ نمونه، ۱۴ نمونه به‌درستی و ۱ نمونه به اشتباه تشخیص داده شده است. در نهایت بر اساس جدول ۳، مدل توانسته است نمونه‌های روغن حیوانی و دنبه را با نرخ طبقه‌بندی صحیح ۹۷/۱۵ درصد تفکیک کند. خیرعلی‌پور و پرما برای طبقه‌بندی خیار از تحلیل تفکیک درجه دوم (QDA) استفاده کردند. براساس نتایج، دقت طبقه‌بندی به روش QDA برابر۹۳/۱ درصد به‌دست آمد (Khairalipour and Parma, 2015)

جدول ۲- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی درجه دوم روغن حیوانی با روغن نباتی

Table 2- Confusion matrix obtained to identify cow ghee from vegetable oil

نمونه Sample	1	2	3	4	5	6	7
1	15	0	0	0	0	0	0
2	0	13	0	0	0	0	0
3	0	2	15	0	0	0	0
4	0	0	0	13	1	0	0
5	0	0	0	2	14	0	0
6	0	0	0	0	0	15	0
7	0	0	0	0	0	0	15
دقت طبقه‌بندی صحیح Correct classification rate					95.24 %		

جدول ۳- ماتریس اغتشاش طبقه‌بندی درجه دوم روغن حیوانی با روغن دنبه
Table 3- Confusion matrix obtained to identify cow ghee from animal fat

نمونه Sample	1	2	3	4	5	6	7
1	14	1	0	0	0	0	0
2	1	14	0	0	0	0	0
3	0	0	15	0	0	0	0
4	0	0	0	14	0	0	0
5	0	0	0	1	15	0	0
6	0	0	0	0	0	15	0
7	0	0	0	0	0	0	15
دقت طبقه‌بندی صحیح Correct classification rate						97.15	

نتیجه‌گیری

قابلیت یک سامانه ماشین بویایی بر پایه هشت حسگر نیمه‌هادی اکسید فلزی (MOS) با روش شناسایی الگو PCA در تشخیص وجود تقلب در روغن حیوانی گاوی خالص مورد بررسی قرار گرفت. در تحلیل PCA دو مؤلفه‌ی اصلی برای نمونه‌های روغن حیوانی گاوی خالص و ترکیب آن با روغن دنبه و روغن نباتی مورد آزمایش و تحلیل قرار گرفت که واریانس بین نمونه‌ها در مجموع به‌ترتیب برابر با ۹۷ درصد و ۹۸ درصد بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ماشین بویایی بر پایه حسگرهای MOS در ترکیب با روش‌های شناسایی الگو توانایی تشخیص تقلب روغن‌های نباتی و روغن دنبه را در روغن حیوانی گاوی خالص دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از نمودار رادار و PCA می‌توان نتیجه گرفت که حسگرهای شماره ۲ (TGS822)، ۳ (MQ136)، ۴ (MQ9) و ۸ (TGS2620) بالاترین مقادیر ضریب لودینگ و حسگر شماره ۶ (MQ135) کم‌ترین مقدار این ضریب را به خود اختصاص دادند. همچنین حسگر MQ135 که مربوط به تشخیص بخار آمونیاک، بنزن، سولفید است در تفکیک روغن حیوانی گاوی، روغن دنبه روغن نباتی عمل‌کردی ندارد. با توجه به نتایج طبقه‌بندی به روش تحلیل تفکیک درجه دوم (QDA)، دقت طبقه‌بندی صحیح برای مخلوط روغن حیوانی با روغن نباتی و روغن دنبه به‌ترتیب برابر ۹۵/۲۴ و ۹۷/۱۵ درصد به‌دست آمد.

References

1. Amrutha Kala, A. 2013. Detection of possible adulteration in commercial ghee samples using low-resolution gas chromatography triglyceride profiles. International Journal of Dairy Technology 66: 346-351.
2. Bahrami, G. R., H. Rahi, and Z. Pyravi-Vanak. 2000. Change in fatty acids composition of milk products during the traditional Ghee-making process. Journal of Kerman University of Medical Sciences 7: 14-19.
3. Cevoli, C., L. Cerretani, A. Gori, M. Caboni, T. G. Toschi, and A. Fabbri. 2011. Classification of Pecorino cheeses using electronic nose combined with artificial neural network and comparison with GC–MS analysis of volatile compounds. Food Chemistry 129: 1315-1319.
4. Doleman, B. J., and N. S. Lewis. 2001. Comparison of odor detection thresholds and odor discriminablities of a conducting polymer composite electronic nose versus mammalian olfaction. Sensors and Actuators B: Chemical 72: 41-50.
5. Ghasemi-Varnamkhasti, M., S. S. Mohtasebi, M. Siadat, and S. Balasubramanian. 2009. Meat quality assessment by electronic nose (machine olfaction technology). Sensors 9: 6058-6083.
6. Ghasemi-Varnamkhasti, M., S. S. Mohtasebi, M. Siadat, H. Ahmadi, and S. H. Razavi. 2015. From simple classification methods to machine learning for the binary discrimination of beers using electronic nose data. Engineering in Agriculture, Environment and Food 8: 44-51.
7. Ghasemi-Varnamkhasti, M., S. S. Mohtasebi, M. Siadat, J. Lozano, H. Ahmadi, S. H. Razavi, and A. Dicko. 2011. Aging fingerprint characterization of beer using electronic nose. Sensors and Actuators B: Chemical 159: 51-59.
8. Hai, Z., and J. Wang. 2006. Detection of adulteration in camellia seed oil and sesame oil using an electronic nose. European Journal of Lipid Science and Technology 108: 116-124.
9. Heidarbeigi, K., S. S. Mohtasebi, A. Foroughirad, M. Ghasemi-Varnamkhasti, Sh. Rafiee, and K. Rezaei. 2015. Detection of adulteration in saffron samples using electronic nose. International Journal of Food Properties 18: 1391-1401.
10. Jirankalgikar, N. M., and S. De. 2014. Detection of tallow adulteration in cow ghee by derivative spectrophotometry. Journal of Natural Science, Biology, and Medicine 5: 317.

11. Kiani, S., S. Minaei, and M. Ghasemi-Varnamkhasti. 2016. Application of electronic nose systems for assessing quality of medicinal and aromatic plant products: A review. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants 3: 1-9.
12. Khairalipour, K., and A. Prma. 2015 .Using linear (LDA) and quadratic (QDA) discriminant analysis to classify shape features of cucumber fruit. Eighth National Conference on Agricultural Research Findings. (In Farsi).
13. Loutfi, A., S. Coradeschi, G. K. Mani, P. Shankar, and J. B. B. Rayappan. 2015. Electronic noses for food quality: A review. Journal of Food Engineering 144: 103-111.
14. Marina, M., Y. B. Che Man, and I. Amin. 2010. Use of the SAW Sensor Electronic Nose for Detecting the Adulteration of Virgin Coconut Oil with RBD Palm Kernel Olein. Journal of the American Oil Chemists Society. 87: 263-270.
15. Mildner-Szkudlarz, S., and H. H. Jeleń. 2008. The potential of different techniques for volatile compounds analysis coupled with PCA for the detection of the adulteration of olive oil with hazelnut oil. Food Chemistry 110: 751-761.
16. Oh, K., F. B. Hu, J. E. Manson, M. J. Stampfer, and W. C. Willett. 2005. Dietary fat intake and risk of coronary heart disease in women: 20 years of follow-up of the nurses' health study. American Journal of Epidemiology 161: 672-679.
17. Oliveros, M. C. C., J. L. P. Pavón, C. G. A. Pinto, M. E. F. Laespada, B. M. Cordero, and M. Forina. 2002. Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as a fast alternative for the detection of adulteration of virgin olive oils. Analytica Chimica Acta 459: 219-228.
18. Pearce, T. C., S. S. Schiffman, H. T. Nagle, and J. W. Gardner. 2003. Handbook of machine olfaction: electronic nose technology. John Wiley & Sons.
19. Sanaeifar, A., S. S. Mohtasebi, M. Ghasemi-Varnamkhasti, and H. Ahmadi. 2015. Designing, manufacturing and evaluating the function of the olfactory machine (electronic nose) based on metal oxide semiconductor (MOS) sensors to monitor banana. Journal of Agricultural Machinery 5 (1): 111-121. (In Farsi).
20. Son, H. J., J. H. Kang, E. J. Hong, C. L. Lim, J. Y. Choi, and B. S. Noh. 2009. Authentication of sesame oil with addition of perilla oil using electronic nose based on mass spectrometry. Korean Journal of Food Science and Technology 41: 609-614.
21. Tajima, A., S. Kawahara, K. Shin, K. Imaizumi, T. Nakamura, and T. Ito. 1995. Is beef tallow really hazardous to health? Nutrition Research 15: 1429-1436.
22. Tohidi, M., M. Ghasemi-Varnamkhasti, V. Ghafarinia, M. Bonyadian, and S. S. Mohtasebi. 2018. Development of a metal oxide semiconductor-based artificial nose as a fast, reliable and non-expensive analytical technique for aroma profiling of milk adulteration. International Dairy Journal 77: 38-46.
23. Varidi, M. J., M. Varidi, M. Vajdi, and A. Sharifpour. 2018. Design, development and application of electronic nose instrument to rapidly detect spoilage of air, vacuum and modified atmosphere packaged camel minced meat. Food Science and Technology: 15(74): 243-254.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 10, No. 2, Fall- Winter 2020, p. 129-139

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۹، ص ۱۳۹-۱۲۹

Implementation of a Machine Olfaction for the Detection of Adulteration in Cow Ghee

F. Ayari[1], E. Mirzaee- Ghaleh[2*], H. Rabbani[3], K. Heidarbeigi[4]

Received: 20-09-2017
Accepted: 26-05-2018

Introduction

One the most important discussions of the world community is the importance and the role of edible oils in the nutrition and physical health of individuals, especially in the prevention of cardiovascular disease. One of these oils, used in cooking, is cow ghee. Cow ghee should be free of vegetable oil, animal fat, mineral oils, flavored additives and any other external ingredients. It is hard to find a technique that can easily and reliably measure the quality of the oil. So far, no special machine or system has been designed or built to distinguish the pure cow ghee from the adulterated ones. Electronic nose is a new method that has recently been considered by researchers in agriculture especially in the field of food quality. Because of high ability of e-nose system, in this research, this system was used for the detection of pure cow gee from the adulterants ones.

Materials and Methods

An olfactory machine system based on eight MOS sensors was designed to detect pure cow ghee from the adulterated with various proportions of vegetable oil and animal fat. Designed system includes data acquisition system, sensors, sensors chamber, sample box, power supply, connections, electric valves, air pump and air filter. The sensor array was consisted of the 8 MOS sensors that each of them react to specific volatile compounds. These sensors are widely used in olfactory machines because of their high chemical stability, high durability, low response to moisture and affordable prices. These are the most commonly used sensors in electronic nose system. To prepare samples with different percentages of adulteration, animal body fat and refined vegetable oils were added to pure cow ghee. In order to carry out the experiments, the sample was placed in sample box and in the baseline correction step (200 seconds), clean air was passed through the sensors to transmit the response of sensor array to steady state. At the injection step (180 seconds), the sample headspace was transmitted and passed through sensors chamber. Output voltage of each sensor depends on the type of sensor and its sensitivity. At the cleaning step (120 seconds) the clean air was passed through sensors to get the sensor array responsive to a stable state. Also, at this step the pump removed the odor remaining inside the sample container and system was prepared for the next test. The signals obtained from the sensors were recorded and then pre-processed.

Results and Discussion

PCA and QDA analysis were used for detection the differences between pure cow ghee and adulterated ones. The data obtained from the signals processing with fractional method were used as input of PCA. The PCA results showed that the total variance between pure cow ghee and mixture of cow ghee with animal's fat was 97%. Also score plot of cow’s ghee and its mixture with vegetable oil showed the total variance of 96% between different samples. Sensors are the main components of an electronic nose system therefore it is necessary to select the best sensors to detect differences between samples. The loading plot was obtained to show the role of sensors in e-nose system and demonstrates that the selected sensors have a high degree of complementarity. Based on confusion matrix obtained from QDA analysis, pure samples were detected from vegetable oil and animal fat samples with correct classification rate of 95.24 and 97.15, respectively.

Conclusions

An eight-sensory olfactory machine system (MOS) was designed to detect pure cow ghee from the presence of vegetable oil and animal fat oil. In PCA analysis, the variance between samples was 97% and 98%, respectively. According to the results the radar graph of PCA analysis, it can be concluded that the sensors No 2 (TGS822), 3(MQ136), 4(MQ9) and 8(TGS2620) have the highest and sensor 6 (MQ135) has the lowest ability in classification. The MQ135 sensor reacts to the detection of ammonia, benzene, and sulfide. In other words these gases did not play important role in separating of cow ghee from other mixed oils.

Keywords: Cow ghee, Olfaction machine, Principal component, Semiconductor sensors

1, 2 and 3- MSc Graduated, Assistant Professor and Associate Professor respectively, Mechanical Engineering of Biosystems Department, Razi University, Kermanshah, Iran
4- Assistant Professor, Mechanical Engineering of Biosystems Department, Ilam University, Ilam, Iran
(*- Corresponding Author Email: e.mirzaee@razi.ac.ir)